



zdaniE s nulevym balansom ènergopotreblenija

Kazanci, Ongun Berk; Skrupskelis, Martynas ; Olesen, Bjarne W.; Pavlov, Georgi Krasimiroy

Published in:
Sustainable Building Technologies

Publication date:
2013

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Kazanci, O. B., Skrupskelis, M., Olesen, B. W., & Pavlov, G. K. (2013). zdaniE s nulevym balansom ènergopotreblenija. *Sustainable Building Technologies*, (Summer), 24-34. <http://www.zvt.abok.ru>

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ЗДАНИЕ С НУЛЕВЫМ БАЛАНСОМ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

ОНГУН КАЗАНЦИ, МАРТИНАС СКРУПСКЕЛИС, БЬЁРН ОЛЕСЕН, ГЕОРГИЙ ПАВЛОВ



ПРОЕКТ FOLD

Статья посвящена вопросам использования энергии солнца в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха на примере проекта FOLD, разработанного студентами Датского технического университета в рамках европейского конкурса «Солнечное десятиборье – 2012». В своем проекте студенты применили инновационные технологии с использованием гибридных солнечных коллекторов, грунтовых теплообменников, тепловых насосов и материалов с изменяемым фазовым состоянием.

Снижение энергопотребления зданий и сооружений – одна из ключевых задач общеевропейской стратегии 20/20/20, поскольку на здания приходится около 40 % всей энергии, потребляемой в странах ЕС. Для того чтобы достичь целей, заявленных в стратегии, и перейти к строительству зданий с нулевым энергопотреблением, необходим качественный прорыв в строительных технологиях и технологиях инженерных систем зданий.

Аналогичные цели стоят и перед участниками европейского конкурса «Солнечное десятиборье». Им необходимо спроектировать здание, не потребляющее энергию из внешних сетей и полностью покрывающее свои энергетические потребности за счет энергии солнца. При этом в здании должен обеспечиваться приемлемый уровень микроклимата, необходимый для комфортного пребывания людей. Система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха должна потреблять минимум энергии, поэтому при ее проектировании конкурсанты стараются максимально использовать инновационные технологии в сочетании с проверенными и эффективными традиционными подходами в сфере инженерных систем здания.

О проекте FOLD

Во время подготовки к конкурсу «Солнечное десятиборье – 2012» студенты из Датского технического университета разработали и протестировали систему отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для индивидуального жилого дома, которая включает в себя такие элементы, как:

- грунтовый теплообменник;
- тепловой насос «вода – вода»;
- тепловой насос «вода – воздух»;
- система поверхностного отопления и охлаждения (трубки встроены в конструкцию пола и потолка);

- система естественной вентиляции (возможность проветривания);
- приточно-вытяжная система вентиляции с механическим побуждением;
- котел системы горячего водоснабжения;
- гибридный солнечный коллектор (photovoltaic thermal, PV/T).

Рассматривалось два варианта размещения дома: в Дании (Копенгаген) и Испании (Мадрид).

Грунтовый теплообменник выступает в роли источника теплоты в холодное время года и ее утилизатора в теплое время года. Фрикулинг позволяет получить необходимое количество холода, затрачивая при этом всего 8 % от энергии, потребляемой чиллером, подобранным на ту же холодопроизводительность. Отопление и кондиционирование воздуха реализовано с помощью системы труб, встроенных в строительные конструкции (поверхностное отопление и охлаждение), соединенных с грунтовым теплообменником и тепловым насосом.



Бьёрн Олесен на мероприятии, посвященном празднованию открытия здания FOLD (январь 2012 года)

Вентиляция используется для контроля уровня влажности и организации воздухообмена. Гибридный солнечный коллектор позволяет зданию получить достаточно энергии для собственных нужд и формирует положительный баланс

Здание FOLD. Макет



ТАБЛ. 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Характеристика	Юг	Север	Восток	Запад	Пол	Потолок
Наружные стены						
Площадь, м ²	–	–	19,3	37,2	66,2	53,0
Коэффициент теплопередачи (U-value), Вт/(м ² ·°C)	–	–	0,09	0,09	0,09	0,09
Окна						
Площадь, м ²	21,8	36,7	–	–	–	0,74
Коэффициент теплопередачи (U-value), Вт/(м ² ·°C)	1,04	1,04	–	–	–	1,04
Коэффициент теплопропускания	0,3	0,3	–	–	–	0,3

энергопотребления. Например, доля покрытия полной потребности здания в энергии этой системой составляет 63 % для Мадрида и 31 % для Копенгагена.

Проектирование здания

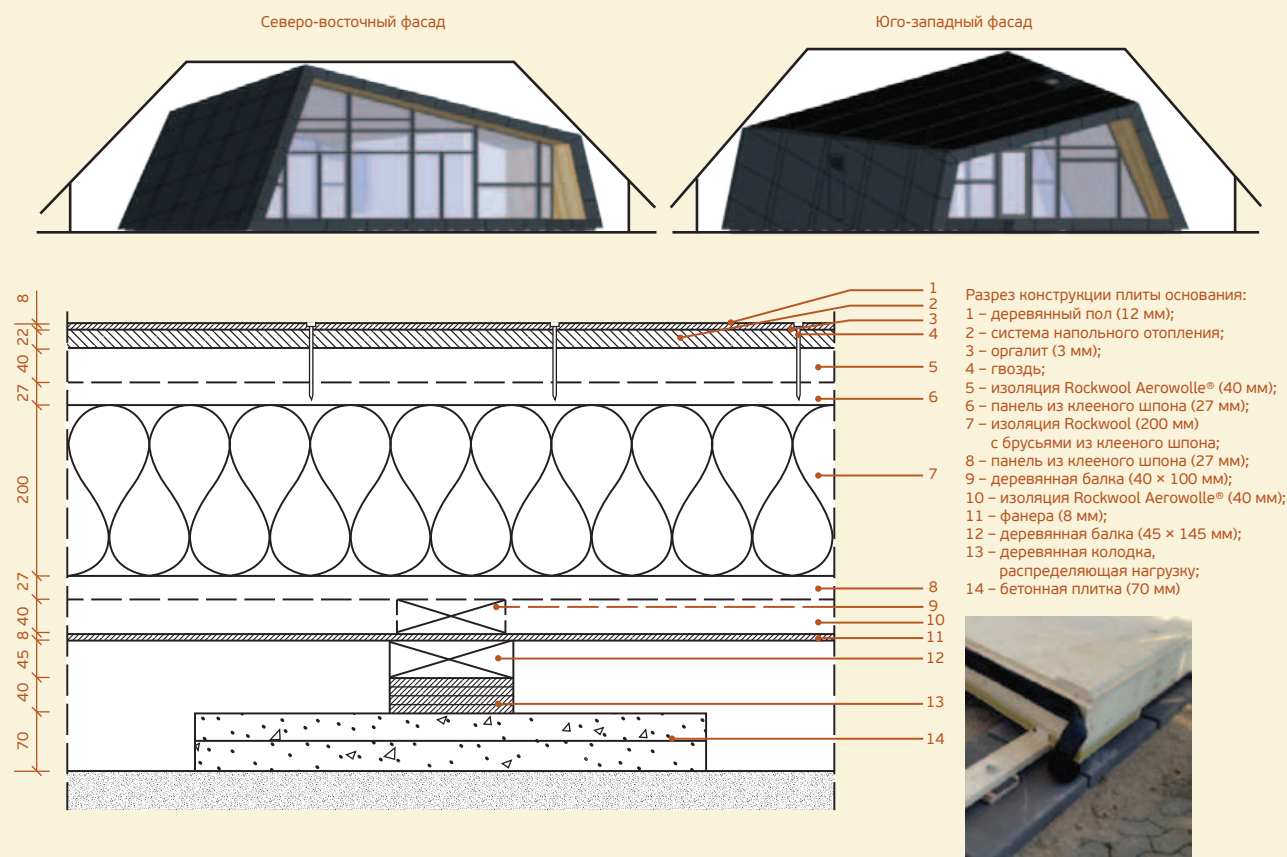
Все разделы проектирования для здания FOLD были выполнены собственными силами команды Датского технического университета.

Часть технических показателей проекта, принятых при разработке задания на проектирование, была ограничена характеристиками оборудования, доступного на рынке на сегодняшний день.

Здание FOLD представляет собой отдельно стоящий одноэтажный жилой дом, предназначенный для проживания одной семьи. Площадь дома – 66,2 м², объем – 213 м³. Особое внимание при разработке архитектуры и конструктивных элементов дома уделялось необходимости снижения тепlopотуплений. Самый большой остекленный фасад дома обращен на север с уклоном 19 ° к западу.

Дом построен из деревянных элементов. Стены, кровля и пол выполнены из сборных конструкций.

РИС. 1. ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЯ [3]



Остекление южного и северного фасадов производилось на завершающей стадии. Заделка швов и контроль герметичности здания выполнялись с особой тщательностью, поскольку эти работы непосредственно влияли на уровень теплопоступлений и теплопотерь.

Здание установлено на бетонную плитку размером $200 \times 300 \times 70$ мм.

Сборные конструкции дома выполнены из панелей и брусев LVL (laminated veneer lumber – клееный шпон) с изоляцией из минеральной ваты. Для теплоизоляции дома использовались два типа материалов: слой стандартной минераловатной изоляции толщиной 200 мм и слой специальной спрессованной изоляции Aerowolle® толщиной 80 мм ($40 + 40$ мм).

Остекленные фасады с северной и южной сторон здания в верхней части имеют навес (козырек), снижающий теплопоступления от прямой солнечной радиации в теплый период года.

В холодный период года навесы не препятствуют проникновению солнечной радиации в дом, что позволяет снизить нагрузку на систему отопления. Активная система затенения применена только для окна, расположенного в кровле здания.

Кухня, гостиная и спальня объединены в одно пространство. Душ и туалет частично отделены перегородками. Техническое помещение полностью выгорожено и имеет отдельный вход. Стена между техническим помещением и жилым пространством имеет такие же теплоизоляционные характеристики, как и наружные стены здания. Данные об ограждающих конструкциях приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Дом полностью укомплектован бытовыми приборами и мультимедийным оборудованием (компьютер, холодильник с морозильной камерой, стиральная машина, сушка для бе-



Кухня, гостиная и спальня здания FOLD объединены в одно пространство

лья, посудомоечная машина, плита, телевизор и DVD-плеер). Электрическая мощность, потребляемая бытовой техникой, составляет 1,5 кВт.

Проектирование системы ОВК

Согласно заданию на проектирование, система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха здания, возведенного как в Копенгагене, так и в Мадриде, должна быть выполнена таким образом, чтобы поддерживать необходимые параметры микроклимата.

МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

Для проектирования системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха была построена модель теплового баланса, согласно которой определены следующие параметры:

- **максимальные теплопоступления** – 52 Вт/м²;
- **средний уровень теплопоступлений** – 35,2 Вт/м²;
- **максимальные теплопотери** – 45,6 Вт/м²;
- **средний уровень теплопотери** – 26,6 Вт/м²;
- **площадь помещения** – 66,2 м².



Монтаж гибридного солнечного коллектора

По условиям конкурса параметры микроклимата должны были отвечать следующим требованиям:

- температура воздуха в помещении – 23–25 °С;
- относительная влажность воздуха – 40–55 %;
- максимальная концентрация CO₂ – не более 800 ppm.

Несмотря на то что при проектировании дома FOLD команда прежде всего ориентировалась на климатические параметры периода проведения конкурса, требовалось убедиться, что комфортные параметры микроклимата будут поддерживаться и в остальное время года (см. подробнее о проведенном компьютерном моделировании в разделе «Динамическое моделирование»).

Единственный источник электрической энергии дома FOLD – это гибридный солнечный коллектор, расположенный на кровле здания. Устройство совмещает в себе фотоэлектрические элементы, вырабатывающие электроэнергию, и собственно солнечный коллектор, утилизирующий теплоту фотоэлементов и передающий тепловую энергию в котел системы горячего водоснабжения.

В проекте применена система поверхностного отопления и охлаждения с водой в качестве теплоносителя, что позволяет получить максимальный эффект от использования концепции низкотемпературного отопления и высокотемпературного охлаждения.

В качестве источника теплоты и холода используется геотермальная энергия. В теплое время года система работает в режиме фрикулинга, расходуя электроэнергию только на циркуляционный насос, в холодный период



дополнительно используется тепловой насос.

Для увеличения тепловой массы здания как дополнительная опция был разработан вариант применения в проекте материалов с изменяемым фазовым состоянием (phase change materials, PCM). В фактически построенном здании FOLD данная технология не применялась. При моделировании материалы использовались для активного охлаждения ограждающих конструкций здания в теплый период.

Моделирование и тесты показали, что использование материалов с изменяемым фазовым состоянием в ограждающих конструкциях здания позволит получить дополнительную экономию энергии порядка 30 %. После постройки и тестирования этого здания дополнительные возможности оптимизации его энергетической системы бу-

дут тщательно изучены на практике с целью их внедрения в первоначальный проект. Массовое применение подобных технологий в строительстве позволит значительно снизить потребление первичной энергии и сократить выброс парниковых газов.

Как упоминалось ранее, дом полностью укомплектован бытовыми приборами и мультимедийным оборудованием. При работе этих устройств выделяется тепловая энергия. Проект требовал максимального снижения нагрузок на систему кондиционирования воздуха, поэтому было принято решение разместить в жилом пространстве только те устройства, которые используются ежедневно, а остальное оборудование перенести в техническое помещение.

Для поддержания необходимого качества воздуха в здании

предусмотрены система естественной вентиляции и отдельная система приточно-вытяжной вентиляции с механическим побуждением, состоящая из двух приточных диффузоров и четырех вытяжных (кухонный зонт, вытяжки в ванной комнате, туалете, сушилке для одежды).

Система ОВК и концепция управления микроклиматом

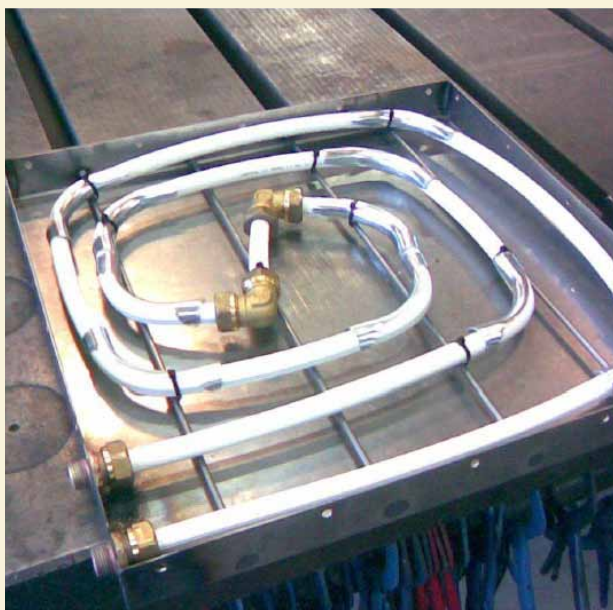
Для того чтобы обеспечить оптимальный режим эксплуатации системы с минимальным потреблением энергии, необходимо управлять каждым ее компонентом и точно контролировать ее показатели в целом.

Схема системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха приведена на рис. 2.

В системе поверхностного отопления и охлаждения трубки с теплоносителем и алюминиевые пластины

ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ (PCM)

Студенты провели ряд экспериментов, поочередно нагревая и охлаждая металлический контейнер с PCM для изучения свойств этих материалов. Охлаждение производилось за счет встроенных в контейнер трубок РEX с холодоносителем.



Контейнер до момента наполнения PCM

Для нагрева PCM использовались два варианта:

- теплый воздух (конвекция);
- лампочки накаливания (излучение).

В ходе экспериментов команда проекта изучала способность PCM к поглощению и аккумуляции тепловой энергии.



Варианты нагрева PCM



Монтаж сборных конструкций

встроены в деревянные конструкции пола и потолка. Система охлаждения работает без образования конденсата. При отоплении используются только трубы, встроенные в пол, в теплый период года для охлаждения помещения применяются трубы, встроенные в потолок, и при необходимости задействуются трубы, встроенные в конструкцию пола. Для управления расходом и температурой воды предусмотрен смесительный узел.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Размеры вертикального U-образного теплообменника:

- глубина – 120 мм;
- диаметр – 0,12 м.

Радиус трубки теплообменника:

- внутренний – 13 мм;
- внешний – 16 мм.

Термическое сопротивление скважины – 0,1 м²·°C/Вт.

Термическое сопротивление грунта в течение расчетного месяца – 0,37 м²·°C/Вт.

Температура грунта:

- для Копенгагена – 8,3 °C;
- для Мадрида – 14,3 °C.

Приточно-вытяжная установка обеспечивает расход 320 м³/ч при напоре 100 Па (кратность воздухообмена составляет 1,5 ч⁻¹). Она имеет две системы рекуперации теплоты:

- пассивную (перекрестно-точный пластинчатый рекуператор с эффективностью 88 % по явной теплоте и возможностью рециркуляции);
- активную (встроенный тепловой насос «вода – воздух» с 4-ходовым клапаном, соединенный с резервуаром горячего водоснабжения).

Вентиляция с механическим побуждением позволяет лучше контролировать температуру воздуха в помещении, уровень относительной влажности и концентрацию CO₂, но требует расхода электроэнергии на работу вентилятора (40 Вт·ч/м³).

Этот тип вентиляции не применяется, когда климатические условия наружного воздуха позволяют использовать естественную. Для организации естественной вентиляции можно воспользоваться окнами на северном и южном фасадах и окном в кровле здания.

Водяной контур системы гибридного солнечного коллектора соединен с грунтовым теплообменником. Гибридный солнечный

коллектор вырабатывает электричество (номинальная эффективность – 15,73 %) и тепловую энергию, необходимую для нагрева воды в баке горячего водоснабжения и для бытовых приборов (посудомоечная и стиральная машины). Общая площадь гибридного солнечного коллектора (67,8 м²) разделена на две зоны:

- зона А (45,4 м²): работает только на нагрев воды в баке горячего водоснабжения;
- зона В (22,4 м²): выполняет две функции – нагрев воды в баке горячего водоснабжения (когда не хватает мощности зоны А) и охлаждение фотоэлектрических элементов.

Моделирование и расчеты показали, что имеющаяся скважина не может обеспечить одновременное охлаждение конструкций здания и системы фотоэлектрических элементов в момент пиковых нагрузок на систему кондиционирования воздуха. Поэтому охлаждение системы солнечных батарей с помощью грунтового теплообменника происходит только в интервалы,

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ОТОПЛЕНИЯ (ОХЛАЖДЕНИЯ)

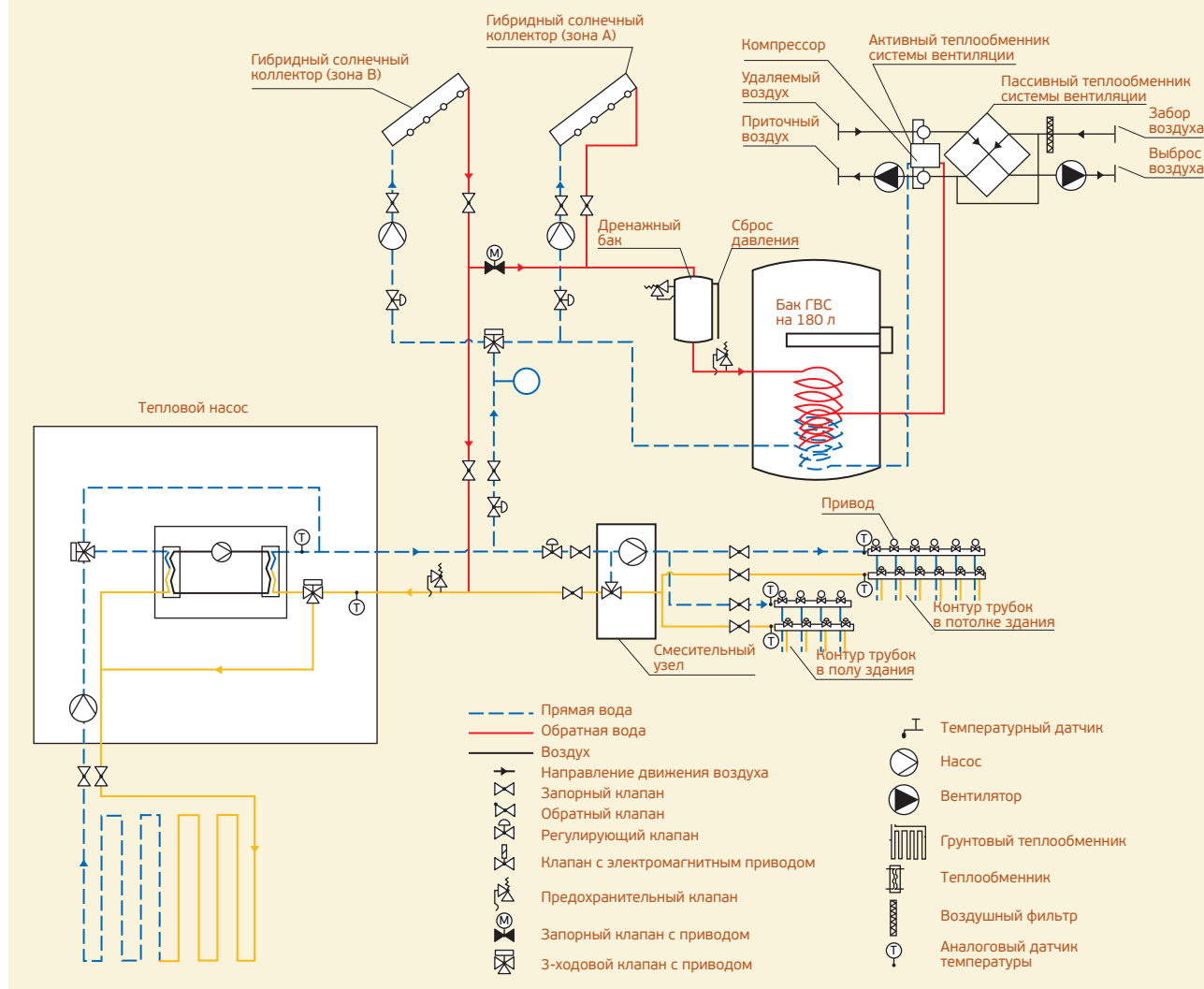
Система водяного потолочного отопления Уропог:

- изоляция – пенополистерол;
- алюминиевые пластины;
- трубы РЕХ – 12 × 1,7 мм;
- контуры – 6 шт.;
- расход воды на один контур – 0,07 м³/ч.

Система водяного напольного отопления Уропог:

- алюминиевые пластины;
- трубы РЕХ – 17 × 2 мм;
- контуры – 4 шт.;
- расход воды на один контур (охлаждение) – 0,07 м³/ч;
- расход воды на один контур (отопление) – 0,15 м³/ч.

РИС. 2. СХЕМА СИСТЕМЫ ОВК ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА FOLD



когда дом не требует включения системы кондиционирования воздуха.

В системы гибридного солнечного коллектора и горячего водоснабжения встроен дренажный бак, позволяющий при необходимости слить воду из контура солнечного коллектора.

Бак горячего водоснабжения емкостью 180 л оборудован двумя спиральными теплообменниками и электронагревательным элементом.

Один из спиральных теплообменников соединен с контуром солнечного коллектора через бак-аккумулятор, второй – с активной системой рекуперации те-

плоты вентиляционной установки. Электронагревательный элемент (1,5 кВт) работает на верхнюю часть бака (54 л).

Динамическое моделирование

Для моделирования теплового баланса и работы инженерных систем в течение года использовался программный комплекс TRNSYS [4].

Моделирование проводилось для двух вариантов расположения здания – Копенгаген и Мадрид.

В расчетах приняты климатические данные:

- для Копенгагена – по справочнику «Международные климатические

параметры для энергетических расчетов» (International Weather for Energy Calculations, IWEC);

- для Мадрида – по справочнику «Испанские климатические параметры для энергетических расчетов» (Spanish Weather for Energy Calculations, SWEC).

Период с мая по сентябрь включительно рассматривался как сезон охлаждения, остальное время года принято как отопительный сезон.

В соответствии с проектом результирующая температура в помещении равна:

- $21 \pm 1^\circ\text{C}$ – холодный период года;
- $25 \pm 1^\circ\text{C}$ – теплый период года.

Таким образом, интервал результирующей температуры для дома FOLD составил 20–26 °С.

Эти значения соответствуют 2-й категории комфорта микроклимата для жилых помещений согласно стандарту EN 15251 [5].

Для моделирования возможности снижения нагрузок на систему отопления и кондиционирования воздуха за счет применения материалов с изменяемым фазовым состоянием использовалась программа BSim.

Было рассмотрено четыре варианта исполнения ограждающих конструкций – от самого простого и традиционного до варианта с максимальным использованием материалов с изменяемым фазовым состоянием:

- 50-миллиметровый слой материала с изменяемым фазовым состоянием, находящийся в непосредствен-

ном контакте с пространством помещения;

- система поверхностного отопления и охлаждения, встроенная в деревянные конструкции здания;
- 50-миллиметровый слой материала с изменяемым фазовым состоянием, покрытый слоем клееной фанеры толщиной 10 мм;
- 50-миллиметровый слой материала с изменяемым фазовым состоянием, покрытый слоем клееной фанеры толщиной 10 мм, в сочетании с системой труб, встроенных в конструкцию деревянного пола.

Из-за ограниченных возможностей программы Bsim моделирование провели только для теплого периода года.

Результаты моделирования

Результаты моделирования характеристик грунтового теплообменника

за 1 год и за 10 лет приведены соответственно в табл. 2 и 3.

Отрицательное значение баланса показывает, что из скважины получают больше тепловой энергии, чем в нее отводится, о чем свидетельствует и снижение температуры грунта вокруг скважины. Моделирование средней температуры грунта иллюстрирует рис. 3.

Результаты динамического моделирования возможного применения материалов с изменяемым фазовым состоянием показаны на рис. 4 (теплый период года – с мая по сентябрь).

Моделирование подтвердило, что здание FOLD имеет положительный энергетический баланс в течение всего года. Однако при этом стоит обратить внимание на то, что полученные значения являются агрегированными результатами исчислений и возможны ситуации и интервалы времени, когда энергии, производимой системами, может не хватать для покрытия энергетических потребностей.

Наибольшее потребление энергии, вне зависимости от расположения дома (Копенгаген или Мадрид), приходится на систему отопления. Во многом это обусловлено большой площадью остекления северного и южного фасадов. Масштабное остекление нивелирует положительный эффект от использования стен с очень низким коэффициентом теплопроводности.

Система поверхностного отопления и охлаждения в сочетании с тепловым насосом и грунтовым теплообменником показывает превосходные результаты при одновременном использовании в проекте концепции низкотемпературного отопления и высокотемпературного охлаждения.

Фрикулинг можно применять в качестве единственного источника холода для обоих вариантов расположения здания.

ТАБЛ. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА (ДАННЫЕ ЗА 1 ГОД) (TRNSYS)

Показатель, кВт·ч	Копенгаген	Мадрид
Энергия, требуемая для отопления здания	6 932,3	4 351,3
Энергетический баланс системы отопления*	–3 128,8	–548,6
Холодопроизводительность системы фрикулинга	1 301,1	2 042,6
Нагрузка на систему кондиционирования воздуха	1 195,8	1 661,0
Нагрузка на систему охлаждения солнечного коллектора	105,3	381,6

* Показывает количество энергии, недостающее для покрытия полной потребности здания в отоплении, при использовании системы грунтового теплообменника без включения теплового насоса.

ТАБЛ. 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА (ДАННЫЕ ЗА 10 ЛЕТ) (TRNSYS)

Показатель	Копенгаген	Мадрид
Начальная температура грунта, °С	8,3	14,3
Средняя температура грунта через 10 лет, °С	7,8	14,2
Тепловой баланс скважины*, МВт·ч	–28,7	–2,8

* Рассчитан как разница теплового потока, отводимого в грунт, и теплового потока, поглощаемого из грунта.

ТАБЛ. 4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА И СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (ДАННЫЕ ЗА 1 ГОД) (TRNSYS)

Показатель	Копенгаген	Мадрид
Выработка электроэнергии, кВт·ч	7 434,3	11 392,7
КПД ($\eta_{el,A}$), %	15,04	14,60
КПД ($\eta_{el,B}$), %	15,05	14,62
Доля покрытия полной потребности здания в энергии гибридным солнечным коллектором, %	30,5	62,7

ТАБЛ. 5. СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЯ

Показатель, кВт·ч/м ²	Копенгаген	Мадрид
Энергопотребление системой:		
• отопления	31,6	20,7
• кондиционирования воздуха	0,5	1,0
• вентиляции	0,7	5,2
• горячего водоснабжения	7,3	3,8
• прочими системами	5,6	4,4
Полное потребление электроэнергии	45,6	35,1
Потребление первичной энергии	114,1	105,2
Энергетический баланс здания (электричество)	66,7	137,0

При расположении дома в Мадриде чиллер, подобранный на ту же производительность, что и система фрикулинга, потреблял бы 848 кВт·ч, в то время как потребление энергии циркуляци-

онным насосом при фрикулинге составляет всего 65 кВт·ч.

Применение гибридного солнечного коллектора позволяет зданию полностью покрывать собственные потребности и в электрической,

и в тепловой энергии, необходимой для подготовки воды системы горячего водоснабжения.

Несмотря на то что приточно-вытяжная система вентиляции с механическим побуждением позволяет лучше контролировать параметры микроклимата, по мере возможностей должна использоваться именно система естественной вентиляции, не потребляющая электроэнергию.

Результаты моделирования в программе Bsim подтвердили, что увеличение тепловой массы здания при использовании материалов с изменяемым фазовым состоянием, снижает нагрузку на систему кондиционирования воздуха здания. Наиболее значительное снижение нагрузки, порядка 30 %, возможно в первые и последние месяцы сезона охлаждения (переходные месяцы). В момент пиковых нагрузок на систему кондиционирования воздуха снижение нагрузки составляет около 20 %.

Выводы

Датские студенты уделили основное внимание при разработке проекта FOLD требованиям конкурса «Солнечное десятиборье – 2012» к параметрам микроклимата возводимого здания – температуре воздуха, уровню

РИС. 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТА (ДАННЫЕ ЗА 10 ЛЕТ)

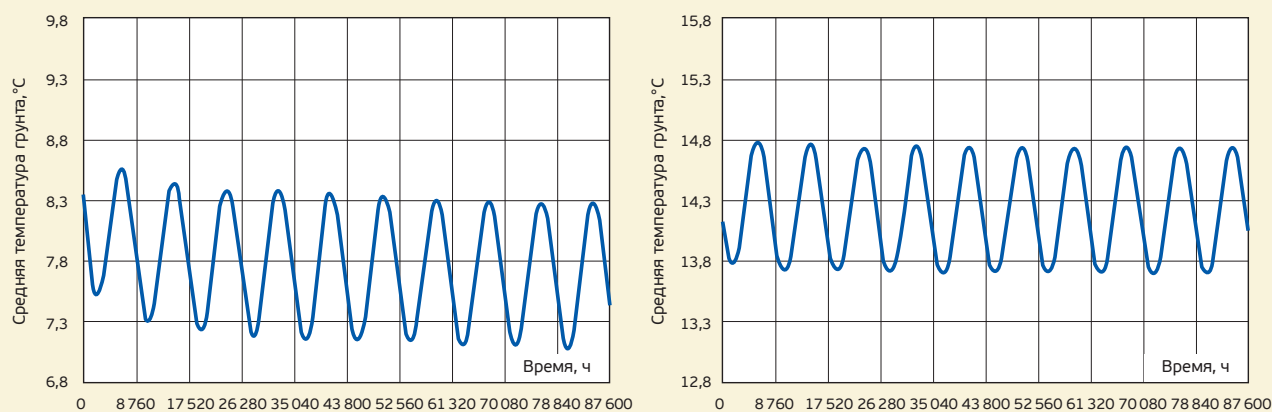
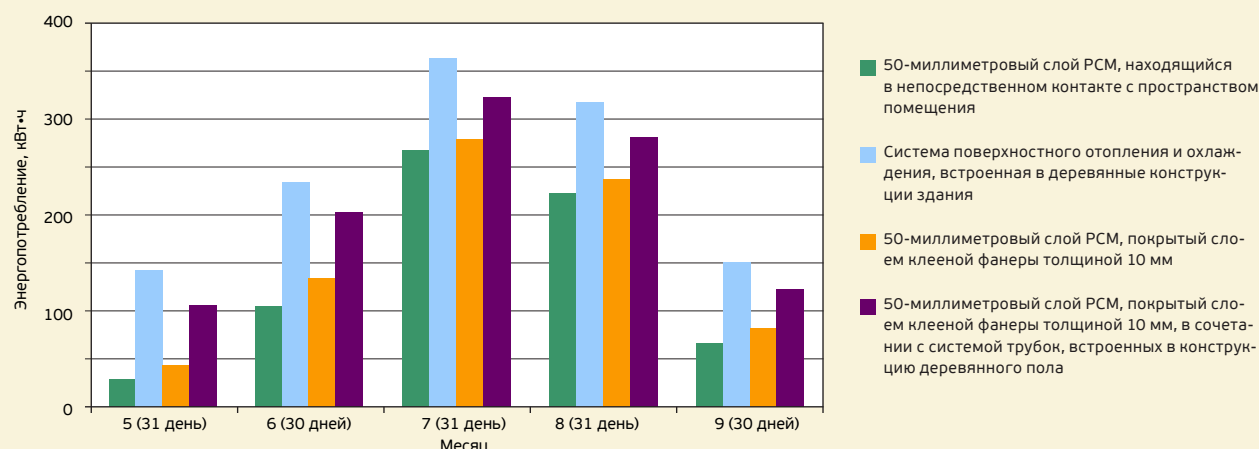


РИС. 4. ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ФАЗОВЫМ СОСТОЯНИЕМ (PCM), МАДРИД (BSim)



относительной влажности и концентрации CO₂. Несмотря на то что пилотный образец дома прежде всего готовился к эксплуатации и проверке показателей, ориентируясь на климатические параметры периода проведения конкурса, команда проекта проводила необходимые расчеты, чтобы удостовериться в том, что выбранная система может эксплуатироваться круглый год в режиме, близком к оптимальному.

Система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха была дважды протестирована во время конкурса – при пробном строительстве дома в Копенгагене и позже, во время конкурса в Мадриде.

Натурные испытания показали, что система способна обеспечить требуемые параметры микроклимата на протяжении большей части времени испытаний [6].

Литература

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings. Brussels: European Union (Директива Европейского парламента и Совета от 19 мая 2010 года № 2010/31/EU по энергетическим характеристикам зданий).

2. Solar Decathlon Europe 2012, Rules, V. 4.0.
3. Architectural Narrative. Technical University of Denmark. 2012.
4. Klein S. A. et al. TRNSYS 17. Vol. 1: Getting Started. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison. 2009.
5. EN 15251:2007. Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal eEnvironment, Lighting and Acoustics. European Committee for Standardization (EN 15251:2007. Входные параметры внутренней среды для проектирования и оценки энергетической характеристики зданий относительно качества воздуха внутри помещения, тепловой среды, освещения и акустики).
6. Solar Decathlon Europe-Monitoring. Accessed 30. September 2012, Pagina oficial del Solar Decathlon Europe. Competicion de casas autosuficientes impulsadas con energia solar. 2012.

Перевод с английского и техническое редактирование выполнены Владимиром Устиновым. ●

ОБ АВТОРАХ

Онгун Казанци – аспирант Датского технического университета. В настоящий момент работает над диссертацией «Низкотемпературное отопление и высокотемпературное охлаждение».

Мартинас Скрупскелис – выпускник Датского технического университета, инженер по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха в литовской строительной компании. Во время подготовки к дипломной работе участвовал в команде проекта FOLD.

Бьёрн Олесен – профессор, канд. наук, директор Международного центра микроклимата и энергосистем зданий Датского технического университета. Активно участвует в работе нескольких комитетов ASHRAE по микроклимату и энергопотреблению зданий. Опубликовал более 350 научных статей. За вклад в развитие инженерных систем зданий имеет несколько наград от ведущих мировых ассоциаций и сообществ инженеров.

Георгий Павлов – канд. наук, сотрудник Международного центра микроклимата и энергосистем зданий Датского технического университета. Ведет активную работу по изучению материалов с изменяемым фазовым состоянием.



БЬЁРН ОЛЕСЕН О СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ С НУЛЕВЫМ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ



– Какие строительные и инженерные технологии и материалы, по-вашему мнению, являются на сегодняшний день самыми перспективными и могут способствовать реализации идеи строительства зданий с нулевым потреблением энергии в ближайшем будущем? К примеру, материалы с изменяемым фазовым состоянием известны давно. Когда можно ожидать, что они начнут применяться в строительстве? ► [ПРОСМОТР ВИДЕО](#)

– В рамках разработки программы строительства зданий с нулевым потреблением энергии ведутся исследования ряда различных технологий, в том числе давно известных. Одна из них – материалы с изменяемым фазовым состоянием, которые могли бы повысить теплоемкость конструкций здания. Большая теплоемкость позволит более равномерно осуществлять как нагрев, так и охлаждение – за счет этого можно будет избегать пиковых нагрузок на сеть или осуществлять нагрев или охлаждение в ночное время, а не в дневное. Однако в процессе исследований материалов с изменяемым фазовым состоянием были обнаружены некоторые сложности их применения. Одна из них заключается в том, что теплопроводность этих материалов очень низка. К примеру, мы провели исследования с бетоном. Нашей целью было повысить его теплоемкость за счет включения слоев материала с изменяемым фазовым состоянием, но эксперимент не удался. Нагревание бетона происходило крайне медленно из-за низкой теплопроводности этих материалов. Сейчас мы продолжаем исследования и ищем способ наиболее эффективного их применения в ограждающих конструкциях зданий. Одна из возможностей применения материалов с изменяемым фазовым состоянием – это использование их в системе теплоснабжения/холодоснабжения, например, в стенках водных резервуаров или же непосредственно в циркулирующем теплоносителе (холодоносителе). Возмож-

но, в процессе дальнейших исследований мы найдем и другие способы эффективного применения материалов с изменяемым фазовым состоянием.

– Данные по моделированию температуры грунта, приведенные в статье, показывают, что через 10 лет использования геотермальной энергии его средняя температура изменится. Изучалось ли влияние этого процесса на окружающую среду и на производительность системы в будущем? ►

– Системы, использующие геотермальную энергию, – популярная сегодня технология, которая применяется для повышения энергоэффективности зданий. Грунт служит и для аккумуляции тепловой энергии, и в качестве источника тепловой энергии, т. к. его температура в малой степени зависит от сезона года и практически всегда соответствует среднегодовой температуре воздуха. Температура грунта в регионах России ниже, чем в Риме или южной Италии. Тем не менее в холодный период года температура грунта все равно выше, чем температура воздуха. Использование геотермальных систем в паре с тепловым насосом для отопления зданий становится абсолютно логичным решением. Одна из проблем применения грунтового теплообменника, с которой сталкиваются специалисты, заключается в использовании его только для отопления. Теплота постоянно забирается из почвы, в результате чего температура грунта становится все ниже и ниже в течение года. Это может отрицательно повлиять и на эффективность работы системы, и на качество грунтовых вод. Возможны и другие негативные воздействия на окружающую среду.

Важно использовать грунтовой теплообменник не только для отопления, но и для охлаждения. Для охлаждения тепловой насос не потребуется, т. к. температура грунта будет составлять порядка 6–7 °C, чего достаточно для того, чтобы вода просто циркулировала, забирая теплоту из здания и аккумулируя ее в почве до следующей зимы. Если систему используют преимущественно для обогрева, то для аккумуляции теплоты в почве в летнее время применимы солнечные коллекторы. Теплота, произведенная солнечными коллекторами за летний период, чаще всего не расходуется полностью и ее избытки можно направить на нагрев почвы. Здесь очень важно найти баланс. Необходимо рассмотреть работу системы и в зимнее и в летнее время, чтобы понять, как будет меняться средняя температура грунта на протяжении минимум 10 лет.

– Каковы перспективы применения тепловых насосов? Известны ли вам технологии, повышающие эффективность работы тепловых насосов и снижающие затраты на обслуживание

оборудования, которые могут быть реализованы в ближайшем будущем? ►

– При использовании теплового насоса очень важен температурный режим системы – разница между температурой источника тепловой энергии (на стороне испарителя) и температурой теплоносителя во внутреннем контуре (на стороне конденсатора) должна быть минимальной. Поэтому довольно удачным с точки зрения производительности является вариант использования теплового насоса в сочетании с грунтовым теплообменником и низкотемпературной системой отопления. Я думаю, что в ближайшее время и в конструктивной части тепловых насосов будут произведены улучшения. Уже сейчас появляются довольно удачные продукты, при этом конкуренция на рынке большая, оборудование будет только совершенствоваться. Спрос на мировом рынке достаточно велик, чтобы стимулировать производителей вкладывать больше средств и усилий в исследования и разработки, направленные на повышение эффективности и улучшение потребительских свойств тепловых насосов.

– Что вы думаете о возобновляемых источниках энергии в целом? Президент России В. В. Путин, например, считает, что не все они полезны. Так, например, из-за ветряков погибает много птиц и кротов. Что вы думаете по этому вопросу? ►

– Обычно люди думают, что возобновляемые источники энергии – это отличное решение вопроса производства энергии и с ними не возникает никаких проблем. На самом деле это не совсем так. Мы говорили о геотермальных источниках энергии. Они действительно эффективно работают и практически не требуют обслуживания, но если говорить, например, о ветрогенераторах, то поначалу люди думают, что это замечательное решение. Когда они узнают, сколько требуется этих турбин для выработки такого же количества энергии, которое производит теплостанция, – им эта идея уже не так нравится. Никто не хочет, чтобы ветряная турбина стояла у них во дворе. Все хотят, чтобы она была где-то подальше от дома. Также ветряные турбины представляют определенную опасность для окружающей среды – для птиц, например. Я думаю, что риски для птиц от турбин не выше, чем, скажем, от авиатранспорта. Аэропорты для птиц даже опаснее, но я знаю, что, к примеру, в Дании, где очень сильно развита программа по ветроэнергетике, поскольку для этой территории характерны сильные ветра, сейчас большинство турбинных установок переносят с материка в морскую зону – подальше от мест проживания людей, чтобы они не мешали своим шумом. При использовании возобновляемых источников энергии нужно также предпринимать меры предосторожности, чтобы не нанести ущерба природе.